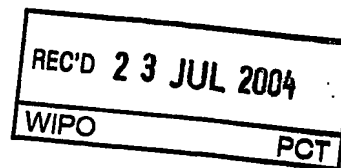


KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 14 juni 2003 onder nummer 1023666,

ten name van:

ENERGIEONDERZOEK CENTRUM NEDERLAND (ECN)

te Petten

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze of inrichting om energie aan een stromend fluïdum te onttrekken",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 12 juli 2004

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,


M.w. D.L.M. Brouwer

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

UITTREKSEL

Werkwijze met betrekking tot een inrichting waarmee energie aan een stromend
fluidum onttrokken kan worden met het kenmerk dat de axiale inductie van tenminste één
5 turbine wordt gereduceerd om het vermogen van het park als geheel te laten stijgen dan
wel om de belastingen op de turbines te reduceren.

In het bijzonder omvat deze inrichting een windturbinepark en een regelsysteem
met het kenmerk dat diverse turbines in het park in hoofdzaak niet op hun individuele
optimum bedreven worden maar dat het park als geheel optimaal wordt ingesteld. Meer
10 in het bijzonder betreft de vinding het transparanter maken van een of meer turbines door
het toerental te verlagen en/of de bladhoeken te verstellen en/of de koorde te reduceren.
Meer algemeen kan deze maatregel omschreven worden als het reduceren van de axiale
inductie.

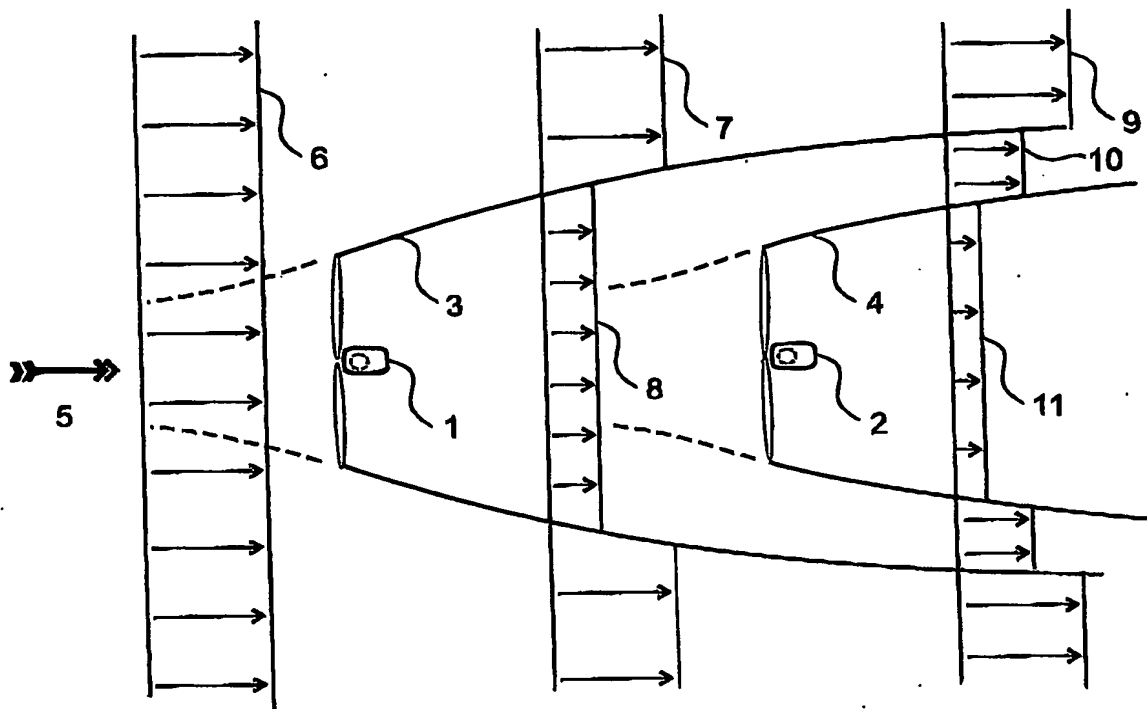


Fig.1

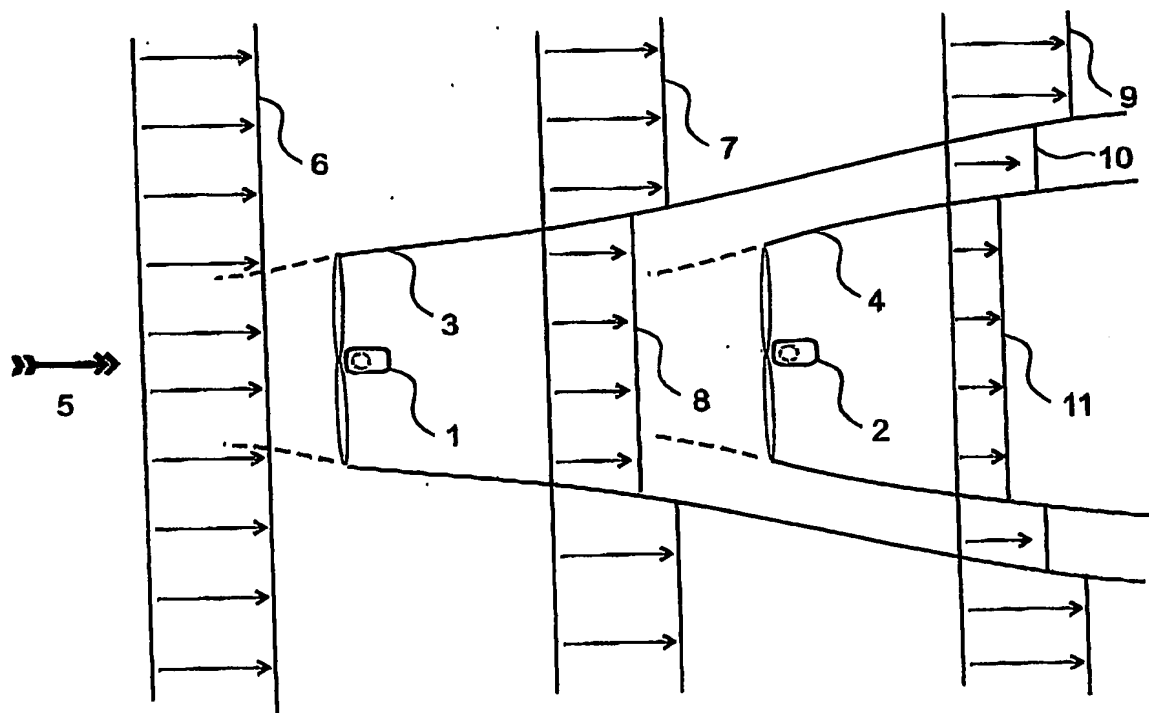


Fig.2

Werkwijze of inrichting om energie aan een stromend fluïdum te onttrekken

Betrekking De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en/of inrichting waarmee energie uit een stromend fluïdum kan worden gewonnen. Met het stromend fluïdum wordt zowel bedoeld op de wind als op (zee)waterstromen. Onder de inrichting wordt een samenstel van turbines met een regelsysteem (in het bijzonder een windturbinepark) verstaan.

Inleiding Het is algemeen bekend dat energie aan de wind kan worden onttrokken met windturbines. Zowel het formaat van de windturbines als het aantal windturbines nemen de laatste jaren snel toe. Steeds vaker worden meerdere turbines bij elkaar gezet in een zogenaamd windturbinepark. Wegens ruimtegebrek op het land (met name in Europa) worden turbines ook vaker offshore geplaatst. Inmiddels zijn er windturbineparken offshore gepland die bestaan uit tientallen turbines of meer. Hoewel het inzicht van de deskundigen hierover uiteenloopt, wordt windenergie gezien als een van de grote energiebronnen van de toekomst. Wordt dit de realiteit, dan zullen vele parken van honderden turbines nodig zijn. Dit soort parken zijn kostbaar en daarom is het van groot belang dat de productie van de parken hoog is, d.w.z. de kosten rechtvaardigt.

Definities Omdat een windturbine kinetische energie aan de wind onttrekt, zal de windsnelheid achter de turbine gedaald zijn. Dit effect wordt vaak aangeduid met de term zogehet effect, schaduwwerking en ook wel met de term interferentie, het verlies dat de turbines aan lij ondervinden noemt men schaduwverlies of zogehet verlies. Het zogehet verlies in windturbineparken wordt vaak in rekening gebracht door het parkrendement te introduceren. Dit getal geeft de verhouding tussen de opbrengst met zogehet verliezen tov. de opbrengst zonder zogehet verliezen. Typische waarden liggen tussen 0.70 en 0.99.

Bijna overal ter wereld komen bepaalde windrichtingen vaker voor dan anderen. Men spreekt dan over een dominante windrichting, die we hier definiëren als de windrichting waarbij het grootste deel van de jaarproductie bij deellastbedrijf geïoogst wordt. We definiëren de ongestoorde windrichting als de windrichting ter plekke van een turbine of park, zonder de invloed van die turbine of dat park. De windrichting varieert overigens fors op een korte tijdschaal (seconden tot minuten), daarom bedoelen we met het begrip windrichting niet de momentane waarde maar de gemiddelde waarde, bijvoorbeeld over 10 minuten.

- Volgens de hedendaagse theorie onttrekken turbines maximaal veel energie aan een fluïdum, indien het fluïdum ter plekke van de turbine tot ongeveer $2/3$ van de oorspronkelijke snelheid wordt afgeremd en op ongeveer 1 diameter achter de turbine tot $1/3$. De fractionele snelheidsafname van $1/3$ van de oorspronkelijke snelheid ter plaatse van de rotor noemt men de axiale inductie, die met de letter a wordt aangeduid. In het geval van maximale energie-onttrekking is a gelijk aan $1/3$. Door de axiale inductie kleiner dan $1/3$ te kiezen, remt de turbine de wind minder af en haalt de betreffende turbine minder energie uit de wind, wat voor de achterliggende turbine volgens de stand der techniek gunstig kan zijn.
- 10 Hedendaagse windturbines zijn vaak ontworpen op een axiale inductie van ongeveer 0.28. De waarde is lager dan de optimale omdat hierdoor een flinke belastingsreductie wordt bereikt terwijl de daling van de energieopbrengst relatief gering is. Indien een windturbine zijn maximale of nominale vermogen bereikt dan wordt er op een of andere wijze gerogeld zodat het vermogen met toenemende windsnelheid niet verder stijgt. De
- 15 regeling kan zowel passief als actief zijn en heeft in beide gevallen tot gevolg dat de axiale inductie met toenemende windsnelheid daalt. Bij windsnelheden van 20m/s tot 25m/s kan de axiale inductie dalen tot onder 0.1.
- De axiaalkracht is gedefinieerd als de kracht in rotor-asrichting uitgeoefend door de wind op de turbine. De axiaalkracht (F_{ax}) hangt samen met de axiale inductie via de relatie $F_{ax} = 4a(1-a)F_{norm}$, waarin F_{norm} een kracht is waarmee wordt genormaliseerd. Deze kracht is
- 20 gelijk aan $\frac{1}{2}\rho V^2 A$, waarin ρ de dichtheid van het fluïdum is, V de fluïdumsnelheid en A het doorlopen rotoroppervlak.
- Nadelen** Als een windturbine maximaal veel energie uit de wind onttrekt, is het normaal dat de windsnelheid op korte afstand achter de turbine (bijvoorbeeld één
- 25 diameter) gedaald is tot minder dan 50% van de oorspronkelijke snelheid. Daar het vermogen dat uit de wind te winnen valt evenredig is met de derde macht van de windsnelheid, betekent de snelheidsdaling dat een tweede turbine die op die plek geplaatst zou zijn hooguit nog één achtste van het vermogen kan halen, vergeleken met de turbine aan loef. In de praktijk treden dit soort dramatische vermogensdalingen zelden
- 30 op omdat de windturbines vrij ver uit elkaar worden gezet. De onderlinge afstand is meestal 3 tot 10 keer de turbinediameter. In die afstand mengt de langzame wind in het zog met snellere wind daarbuiten, waardoor de windsnelheid ter plekke van een volgende

turbine niet te veel gedaald is ten opzichte van de oorspronkelijke windsnelheid. Kortom door de afstand tussen turbines te vergroten vermindert de schaduwwerking.

Het zogprobleem beperkt zich niet alleen tot een ongunstige interactie tussen twee in windrichting achter elkaar opgestelde windturbines, maar speelt juist in belangrijkere mate in windturbineparken. De energie onttrokken door de windturbines aan loefzijde in een park, samen met het verlies aan kinetische energie door menging (dit begrip wordt later toegelicht), leidt onvermijdelijk tot een snelheidsdaling in de atmosferische grenslaag waarin de rest van het park zich bevindt. Men spreekt wel van uitputting van de energie in de atmosferische grenslaag. In ruimere zin kan er ook sprake zijn van schaduwwerking tussen verschillende windturbineparken. Een heel park dat aan lij ligt ten opzichte van een ander park kan een forse productiedaling ondervinden. Behalve de reeds genoemde opbrengstdalingen kan het zogbedrijf ook tot meer vermoeiingsschade aan windturbines leiden.

Indien het aantal turbines dat achter elkaar staat groot wordt, zijn er steeds grotere afstanden tussen de turbines nodig om zogverliezen acceptabel te houden. Dit betekent dat er een groot oppervlak nodig wordt en dat de kabellengtes tussen de turbines, en dus de kosten, toenemen. Op land betekent een grotere afstand tussen de turbines dat ook langere wegen moeten worden aangelegd wat een verdere kostentoeename betekent. Hoewel het verder uit elkaar plaatsen van de windturbines helpt tegen schaduwverliezen, zal aanzienlijke productiedaling van de turbines aan lijzijde in grote parken onvermijdelijk zijn. Die daling kan zo groot zijn dat een park daardoor onrendabel wordt. Verliezen van 30% of meer zijn uit de literatuur algemeen bekend.

Klassieke Oplossingen Door een windturbinepark zo te ontwerpen dat het zich voornamelijk uitstrekt loodrecht op de dominante windrichting kunnen schaduweffecten ook verminderd worden. In de praktijk wordt de opstelling van de windturbines echter ook gedicteerd door tal van andere belangen zoals: Welk grond- of zeeoppervlak is toegewezen aan de windturbine-exploitant, wat zijn de andere functies van het gebied, welke hinder wordt door de turbines veroorzaakt, hoe lopen bestaande netaansluitingen etc. Daardoor zal deze optie ook maar beperkt een oplossing bieden.

De publicatie van Steinbuch, M., Boer, de W.W., e.a., 'Optimal Control of Wind Power Plants' in Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, (27), Amsterdam, 1988, beschrijft dat het bedrijven van windturbines aan loefzijde van een park met een bladtipsnelheid lager dan die waarbij maximaal veel energie wordt

onttrokken, ertoe kan leiden dat de totale parkopbrengst stijgt. Er wordt geen fysische verklaring voor het met simulaties bevestigde resultaat gegeven.

In het proefschrift van Corten, G.P., 'Flow Separation on Wind Turbine Blades', ISBN 90-393-2592-0, 8 januari 2001, wordt gesteld dat bij het mengen van de langzame
 5 lucht in het zog met de snelle lucht daarbuiten de impuls van de twee massastromen samen behouden blijft maar dat een deel van de kinetische energie in warmte verloren gaat. Bij een solitaire windturbine die bij optimaal bedrijf draait is het mengverlies 50% van het door de turbine opgewekte vermogen, zodat de kinetische energie die een
 10 windturbine aan de stroming onttrekt niet gelijk is aan de opgewekte energie maar anderhalf keer zoveel bedraagt. In deze publicatie wordt voorgesteld om de axiale inductie van de turbines aan loefzijde in een park 10% onder de optimale waarde van 0.33 te kiezen (dus 0.30), zodat de productie van het hele park stijgt.

Heersende opvatting Ondanks de bovenstaande literatuur is de heersende opvatting dat zogeffecten wel beter gemodelleerd kunnen worden maar dat ze niet
 15 gereduceerd kunnen worden. Dit blijkt bijvoorbeeld uit Hutting, H., 'Samenvatting technisch onderzoek SEP-Proefwindcentrale'. Kema-Industriële energie systemen, Arnhem, November 1994, waarin de volgende conclusie wordt getrokken: 'verhoging van opbrengst met een parkregeling door rekening te houden met zog-interactie lijkt niet
 20 haalbaar'. Recentere bevestiging voor dit standpunt blijkt uit de notulen van de bijeenkomst van 23 Mei 2002 bij Risø National Laboratory, Denmark. Hier waren een twintigtal experts bijeen, sommigen sinds 1980 bezig met dit onderwerp, en werd alle aandacht gericht op de modellering van zogverliezen. Volgens de notulen zijn de effecten groot, maar is nog steeds onbekend hoe groot en waardoor ze precies bepaald worden. Door de modellering te verbeteren kan vooraf nauwkeuriger worden geschat hoeveel een
 25 groot park op een bepaalde positie zal produceren. Deze informatie is vanzelfsprekend uiterst relevant voor de investeerders. Tijdens de bijeenkomst. Bij deze meeting werd geen aandacht besteed aan mogelijkheden om zogeffecten te reduceren door de turbines anders te bedrijven.

Samenvatting Samenvattend is huidige gedachte dat schaduwwerking forse
 30 opbrengstdalingen veroorzaakt, dat het verder uiteen plaatsen van windturbines een remedie is die tot hoge kosten leidt (meer kabellengte en, op land, langere wegen) en tot een laag vermogen per eenheid van oppervlak. Omdat de ruimte schaars is, is dit een groot nadeel. Niet alleen kan op een gegeven oppervlak minder opgewekt worden, ook

zullen veel oppervlaktes afvallen in concurrentie met andere doelen als er maar weinig opbrengst van te verwachten is. De heersende opvatting is dat het probleem wel beter gemodelleerd kan worden, maar niet kan worden opgelost.

Oplossing Met de onderhavige uitvinding wordt onverwacht toch een gedeeltelijke oplossing aangedragen. Voorgesteld wordt om de axiale inductie van een of meer turbines in een park te verlagen tot waarden van minder dan (0.25, 0.2 of zelfs 0.15). Deze waarden zijn gemiddeldes over het door de turbine doorlopen oppervlakte. In het geval van een horizontale as turbine zijn de waarden gemiddeldes over het deel van het door de rotor bestreken oppervlakte tussen $40\%R$ en $95\%R$, zodat we grote afwijkingen van het gemiddelde in het centrum van een horizontale -as turbine en bij de tippen uitsluiten. De lage axiale inductie waarden zijn vergelijkbaar met het transparanter maken van de turbine voor het fluïdum, zodat de snelheid van het fluïdum achter de turbine minder daalt en het aanbod voor turbines aan lij derhalve stijgt. Aan de numerieke waarden is te zien dat de maatregel verder gaat dan de in het eerder genoemde proefschrift voorgestelde reductie. Daarnaast wordt aangegeven hoe de inductiedaling gerealiseerd kan worden. Een gunstige uitvoering die op huidige windturbines kan worden toegepast is door het reduceren van het toerental en/of het verdraaien van de bladhoeken richting vaanstand. Deze maatregelen kunnen eveneens gecombineerd worden met het reduceren van de koorde van de bladen. Om aan te geven hoeveel de koorde gereduceerd kan worden volgens de uitvinding definiëren we het koordekental als $Nc\lambda_r^2/r$. Hierin is N het aantal bladen, c_r de koorde op een bepaalde radiale positie r en λ_r is de locale snellopendheid, die weer gedefinieerd is als de verhouding tussen de locale bladsnelheid en de ongestoorde windsnelheid. Bij turbines (met radius R) die (zonder parkverliezen mee te nemen) optimaal vermogen uit de wind onttrekken bereikt het koordekental tussen $0.5R$ en $0.8R$ geen waarden kleiner dan 4.0. Normale waarden liggen tussen 4.2 en 5.0 voor turbines groter dan 50 m diameter. Voor kleinere turbines neemt het koordekental verder toe. Door een turbine zodanig te ontwerpen dat het koordekental korter is worden diverse voordelen behaald. Volgens een uitvoering volgens de uitvinding bereikt dit koordekental waarden lager dan 3.75, in het bijzonder lager dan 3.5 en meer in het bijzonder lager dan 3.0.

Volgens een uitvoering van een turbine volgens de uitvinding is de integraal van $Nc_r/(0.3rR)$ tussen $0.5R$ en $0.8R$ kleiner is dan 0.04, in het bijzonder kleiner dan 0.036 en

meer in het bijzonder kleiner dan 0.03. In formulevorm luidt deze integraal: $\int_{0.5R}^{0.8R} \frac{Nc_r}{0.3rR} dr$.

- De voordelen die met dergelijke turbines behaald worden zijn zowel dat de axiale inductie laag is waardoor zogverliezen reduceren als dat de belastingen op de bladen kleiner zijn, omdat de koorde van de bladen relatief klein is. Dit laatste levert ook een
- 5 belastingsvoordeel bij de survival windspeed.

Verder kan voordeel worden behaald door een turbinepark met een regelsysteem uit te rusten dat de axiale inductie van de turbines aanstuurt als functie van de windrichting: als globale regel zullen turbines die meer parkverlies veroorzaken (de turbines aan loef) ingesteld worden op lagere axiale inductiewaarden.

- 10 Naarmate de axiale inductie van een turbine toeneemt neemt ook de turbulentie in het zog toe. Turbines die in het zog van andere turbines staan kunnen dit registreren (bijv. uit anemometermetingen of uit de wisselende belastingen op de bladen). Met toenemende turbulentie worden turbines toenemend belast wat een nadeel is. Indien de turbulentie ongewenste belastingen veroorzaakt (wat uit de registraties kan blijken), kan de
- 15 turbulentie genererende turbine op een lagere axiale inductie ingesteld worden. Zo zou een samenstel van turbines volgens de uitvinding voordelig kunnen worden aangestuurd.
- Ook kan een park uitgevoerd zijn met een regelsysteem dat de axiale inductie van tenminste één turbine reduceert indien de turbulentie in de ongestoorde wind hoog is. Het voordeel dat zo bereikt wordt is dat in dergelijke situaties waarbij de turbines relatief veel
- 20 belast worden, er minder turbulentie door de turbines wordt toegevoegd zodat de belastingen relatief dalen.

- Een park kan worden uitgevoerd met een regelsysteem dat de axiale inductie van tenminste één turbine instelt op basis van o.a. de afstand tot andere turbines in het zog en/of op basis van het aantal turbines in het zog.
- 25 Een park zou ook volgens een uitvoeringsvorm volgens de uitvinding ingericht kunnen worden met turbines met een lagere axiale inductie aan de loefzijde van het park uitgaande van de dominante windrichting. De instelling van de axiale inductie kan dan windrichtingonafhankelijk zijn.

- We kunnen verder spreken van de breedte en de lengte van het park. De breedte wordt
- 30 gemeten loodrecht op de dominante stromingsrichting van het fluïdum en de lengte in dominante stromingsrichting. De breedte is de grootste breedteafstand tussen twee turbines en de lengte de grootste lengteafstand tussen twee turbines in het park. De

turbines waartussen de afstanden gemeten worden dienen in het parkdeel te staan waarbinnen sprake is van een in hoofdzaak regelmatig patroon in de turbineposities. Het parkoppervlak volgt vervolgens uit het product van lengte en breedte. Door alle door de turbines binnen het park doorlopen oppervlaktes op te tellen (bij twee horizontale as turbines met een diameter van 100 m is het bestreken oppervlak $2 \cdot \pi/4 \cdot 100^2 \text{ m}^2$) hebben we het totale bestreken oppervlak van het park. In een park waarbinnen horizontale as turbines op 8D onderlinge afstand staan is het bestreken oppervlak ongeveer 1.2% van het parkoppervlak. Door toepassing van de onderhavige uitvinding, kan een park compacter worden gebouwd. In parken met meer dan 50 turbines, kan het percentage bestreken oppervlak volgens een uitvoeringsvorm van de uitvinding oplopen tot meer dan 3%, in het bijzonder meer dan 5% en nog meer in het bijzonder meer dan 10%.

Een voorkeursuitvoering volgens de uitvoering is die waarbij geen extra regelsysteem nodig is maar waarbij de turbines aan loef op een lagere axiale inductie zijn ingesteld dan de turbines aan lij zodat een deel van het beoogde voordeel reeds behaald wordt. Met name indien er sprake is van een sterk dominante windrichting kan dit een goede uitvoeringsvorm zijn.

Voordelen De inrichting die bedreven wordt volgens de uitvinding, zal minder zogverlies ondervinden dan een inrichting volgens de stand der techniek. Omdat de traditionele manier om zogverliezen te beperken bestaat uit het vergroten van de afstand tussen de energie-onttrekkende elementen (in het bijzonder windturbines) wordt een park daarmee duurder en geeft een minder efficiënte oppervlaktebenutting. Door toepassing van de onderhavige uitvinding kan een park compacter worden ontworpen, terwijl het zogverlies acceptabel blijft.

De turbines kunnen, zoals elke deskundige begrijpt, naast horizontale en verticale as turbines, verder ladderturbines betreffen, vliegende turbines, translerende turbines, turbines in combinatie met concentrerende elementen zoals tipvanen of ringvleugels, elektrostatische windturbines, zeppelinturbines, turbines met meerdere rotoren op een toren, groepjes turbines, etc.

Parkontwerpsoftware Een gunstige inrichting en een bijbehorende gunstige werkwijze voor het onttrekken van energie aan de stroming hangt, zoals gebleken is, van veel factoren af. Bij het ontwerp van zo'n inrichting dient rekenwerk verricht te worden om de verschillende elementen te kiezen en op voordelige plaatsen op te stellen. Dit is vanzelfsprekend een functie van de karakteristieken van de gebruikte passieve of actieve

elementen, van hun onderlinge positie, van het terrein, van meteorologische parameters en van allerlei andere zaken zoals financiële aspecten en verzekeringszaken. De complexiteit en de grote hoeveelheid mogelijke oplossingen vormt de aanleiding om dit ontwerpproces te ondersteunen met software. Software met de speciale eigenschap dat geleidende elementen aan de inrichting kunnen worden toegevoegd en/of waarbij turbines een geleidende functie kunnen hebben en waarbij de invloed van die elementen op het park kan worden voorspeld kan deel uitmaken van de uitvinding.

Parkbesturingssoftware Is een energie-onttrekkende inrichting eenmaal ontworpen, dan zijn er vervolgens een groot aantal samenhangende variabelen te kiezen. De optimale afstelling van al die variabelen is moeilijk vooraf te bepalen. Er is daarom software nodig die eventueel gebaseerd op bepaalde fysische inzichten een groot aantal combinaties van instellingen probeert. Volgens een uitvoering van deze programmatuur worden parameters zoals de axiale inductie, het toerental, de bladhoek, de scheefstandshoek, de circulatieschaal, de posities van turbines volgens een bepaalde strategie gevarieerd. De prestatie van de inrichting wordt als functie van de instelbare parameters opgeslagen en vervolgens wordt het optimum gezocht bij elke windsnelheid en windrichting. Ook andere meteorologische gegevens zoals de temperatuurverdeling of de stabiliteit van de atmosfeer treden hierbij als mogelijke parameters op. Vanuit een gevonden lokaal optimum kunnen parameters gewijzigd worden om een beter optimum te vinden. Het programma kan zelflerend zijn en zo in staat zijn de inrichting steeds beter aan te sturen. Zo ontstaat op den duur een goed beeld over de regelstrategie en wordt een database aangelegd die weer functioneel kan zijn voor de afregeling van andere energie-onttrekkende inrichtingen. Ook kan met deze kennis het ontwerpproces voor nieuwe inrichtingen verbeterd worden.

Figuren Verdere kenmerken en bijzonderheden zullen aan de hand van twee figuren worden uitgelegd. In beide figuren 1 en 2 is een bovenaanzicht te zien van een klein windturbinepark van slechts twee windturbines. De wind (5) heeft in beide figuren dezelfde sterkte en richting. De richting is in dit bijzondere geval parallel aan de lijn van de voorste turbine (1) naar de achterste turbine (2). In figuur 1 is een schets gemaakt van de situatie waarbij turbine 1 maximaal veel energie aan de wind onttrekt, dus bij een axiale inductie van $1/3$ in theorie en ongeveer 0.28 in de praktijk. De wind die door de turbine waait neemt veel in snelheid af, wat te zien is aan het uniforme snelheidsprofiel (6), dat na turbine 1 gepasseerd te zijn overgaat in profiel (7-8) waarvan (8) de sterk

afgeremde zoglucht voorstelt. Het verschil in snelheid tussen (7) en (8) is groot waardoor er veel turbulentie wordt gecreëerd. Dat is nadelig omdat het hogere belastingen geeft op turbine (2) en omdat er meer kinetische energie van de wind in warmte verloren gaat. De luchtstroom (8) is het aanbod voor de turbine aan lij die ook maximaal energie uit de wind haalt. Dit is echter veel minder doordat snelheid (8) zoveel lager is dan snelheid (6).
 5 Achter turbine (2) ontstaat snelheidsprofiel (9-10-11) waarin snelheid (11) ver is gedaald. In figuur 2 is dezelfde situatie afgebeeld als in figuur 1, echter is de axiale inductie van turbine 1 nu gereduceerd volgens een uitvoeringsvoorbeeld van de uitvinding. Het gevolg hiervan is dat snelheid (8) in figuur 2 hoger is dan snelheid (8) in figuur 1. Ook is het
 10 snelheidsverschil tussen (7) en (8) minder waardoor minder turbulentie wordt gecreëerd. Het aanbod van turbine (2) is dus gunstiger omdat de windsnelheid hoger is en de turbulentie lager. Dat betekent een betere verhouding tussen opbrengst en belastingen. Daarnaast is er minder kinetische energie uit de wind in warmte verloren gegaan wat gunstig is voor de parkopbrengst. Turbine (2) in figuur 2 is zo ingesteld dat maximaal
 15 veel energie aan de wind wordt onttrokken omdat er achter turbine (2) geen volgende turbine meer komt. Achter turbine (2) ontstaat zo snelheidsprofiel (9-10-11). Als dit profiel vergeleken wordt met het ongestoorde aanbod van profiel (6) dan kan ten opzichte van de situatie in figuur 1 gesteld worden (dit blijkt niet uit de figuur) dat er meer nuttige energie aan de stroming kan zijn onttrokken en/of dat er minder kinetische energie uit de
 20 wind verloren is gegaan.

Hoewel de uitvinding hierboven aan de hand van voorkeursuitvoeringen beschreven is, zal een deskundige direct inzien dat het voordeel ook bereikt kan worden op een groot aan andere manieren die binnen het bereik van de bijgevoegde conclusies liggen.

25 De vakman zal bovendien begrijpen dat de beschreven vinding zich uitstrekt tot inrichtingen als parken met onder-water-turbines die energie uit een waterstroom onttrekken. Zo'n waterstroom kan een stromende rivier zijn, een getijdenstroom en elke andere op aarde voorkomende waterstroom waar energie uit te onttrekken is. Verder dient begrepen te worden dat de vinding kan worden toegepast met de technologie die
 30 beschreven is in de octrooiaanvraag 1021078. In dat geval kan het verlagen van de axiale inductie in een meer van voordeel zijnde uitvoering volgens de uitvinding worden gecombineerd met het uitoefenen van dwarskrachten op de stroming zodat snelle lucht door het park wordt geleid. De dwarskrachten worden bijvoorbeeld opgewekt met scheef

opgestelde windturbines. Een andere voor de hand liggende combinatie is die met cyclische bladhoekverstelling. Zowel een verstelling waardoor de inductie aan de bovenzijde van de rotor groter is dan aan de onderzijde (gunstiger zog) als een omgekeerde cyclische verstelling (lagere belastingen) kunnen van voordeel zijn.

CONCLUSIES

1. Turbinepark, met het kenmerk dat de axiale inductie van tenminste één turbine gereduceerd wordt tot minder dan 0.25, in het bijzonder tot minder dan 0.20 en meer
5 in het bijzonder tot minder dan 0.15, zodanig dat het vermogen van het park als geheel niet daalt.
2. Turbinepark met het kenmerk dat tenminste één turbine een rotor heeft met een koordekental kleiner dan 3.75, in het bijzonder 3.5 en meer in het bijzonder 3.0 ergens tussen $0.5R$ en $0.8R$.
- 10 3. Turbinepark met het kenmerk dat tenminste één turbine een rotor heeft waarvoor de integraal van $(0.3R)^{-1} N_c / r$ tussen $0.5R$ en $0.8R$ kleiner is dan 0.04, in het bijzonder kleiner dan 0.036 en meer in het bijzonder kleiner dan 0.03.
4. Turbinepark met een regelsysteem met het kenmerk dat dit systeem de axiale inductie van tenminste de helft van alle windturbines in dat park kan instellen als functie van
15 de windrichting.
5. Turbinepark volgens conclusies 1 of 2 met een regelsysteem, met het kenmerk dat dit systeem de axiale inductie van tenminste één turbine in het park instelt als functie van de windrichting.
6. Turbinepark volgens een der bovenstaande conclusies met een regelsysteem, met het
20 kenmerk dat het de axiale inductie van een turbine A instelt op basis van een maat voor de turbulentie bepaald bij een turbine B die in hoofdzaak gelegen is aan lijzijde van turbine A.
7. Turbinepark volgens een der voorgaande conclusies waarbij de axiale inductie van tenminste één turbine wordt ingesteld door een regelsysteem als functie van de
25 turbulentie in de wind.
8. Turbinepark volgens een der bovenstaande conclusies met een regelsysteem, met het kenmerk dat het de axiale inductie van tenminste één turbine instelt als functie van de afstand tot tenminste één aan lij gelegen turbine.
9. Turbinepark volgens een der bovenstaande conclusies waarbij bij een bepaalde
30 windsnelheid tenminste één turbine, in hoofdzaak gelegen aan loefzijde van het park (gebaseerd op de dominante windrichting), verschilt van tenminste één andere turbine, in hoofdzaak gelegen aan lijzijde van het park, in axiale inductie van

gemiddeld meer dan 0.05, in het bijzonder meer dan 0.1 en meer in het bijzonder meer dan 0.15.

- 5 10. Turbinepark met een zelflerend regelsysteem dat de parkprestatie (gemeten naar maximale opbrengst en/of minimale belastingen) optimaliseert door de axiale inducties van de individuele turbines te verstellen.
11. Turbinepark volgens een der bovenstaande conclusies, waarvan bij tenminste één turbine de axiale inductie is verlaagd door het toerental te reduceren en/of de hoek van de bladen richting vaanstand te verstellen, onder nominaal vermogen.
- 10 12. Turbinepark volgens een der bovenstaande conclusies en met tenminste 50 turbines waarin het door de turbines bestreken oppervlak groter is dan 3%, in het bijzonder 5% en meer in het bijzonder 10% van het parkoppervlak.
13. Turbinepark met het kenmerk dat de axiaalkracht van het gehele park wordt gereduceerd zodanig dat het vermogen van een ander aan lij gelegen park verhoogt.

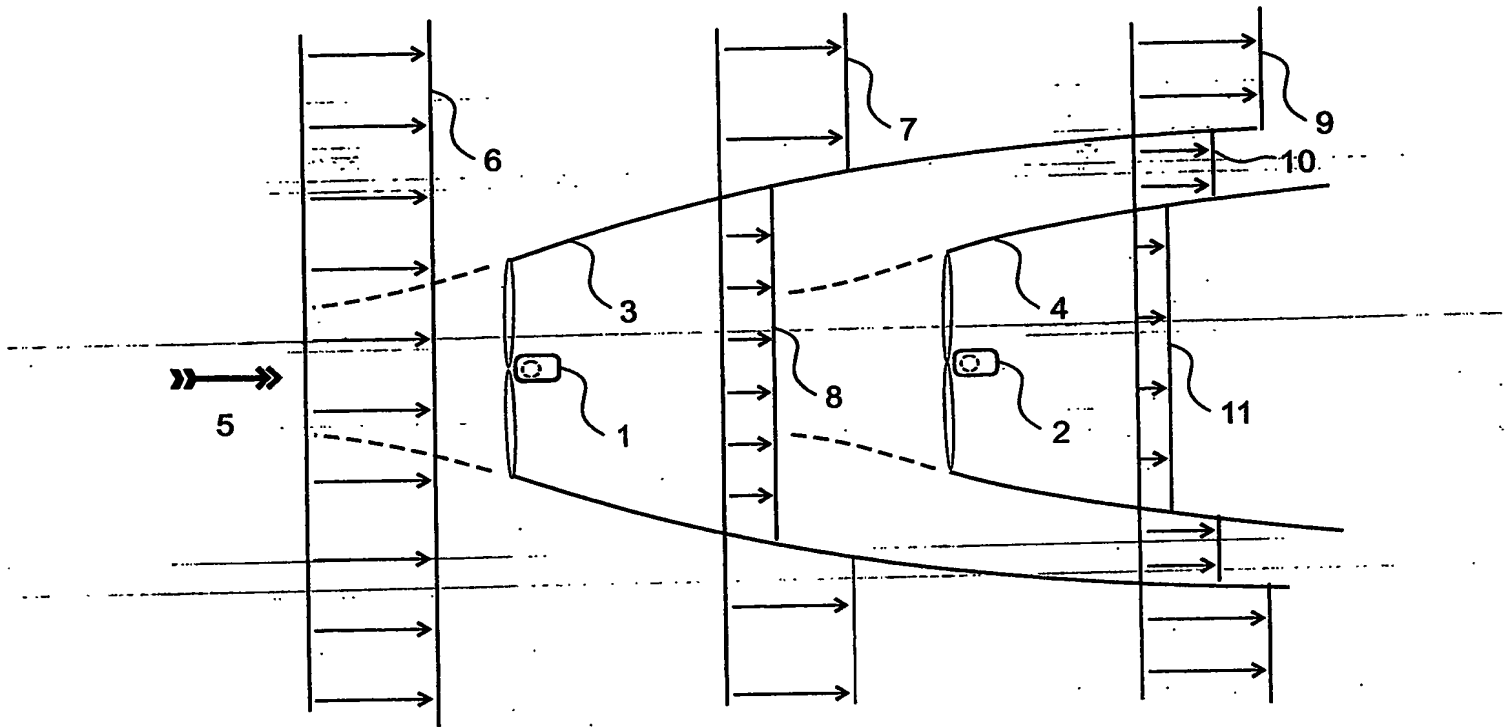


Fig.1

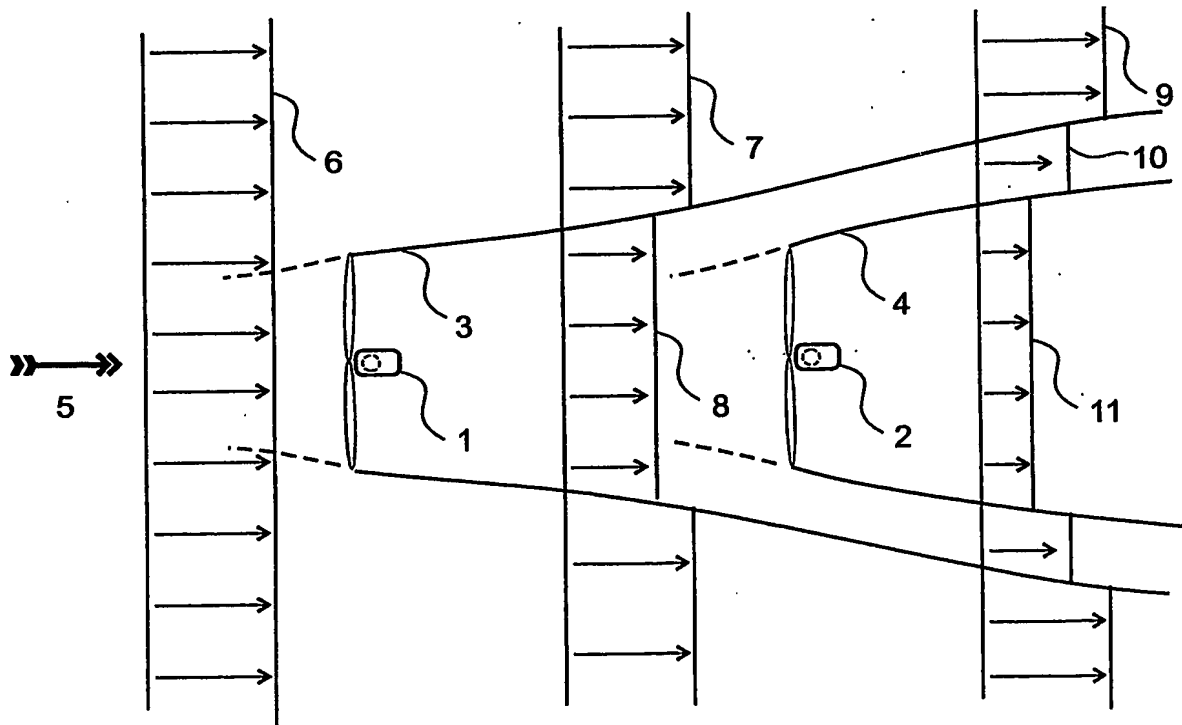


Fig.2